Mater. Environ. Sci. 5 (S1) (2014) 2184-2190
ISSN : 2028-2508
CODEN: JMESCN
MPE14

Mise en place d'un filtre planté pour le traitement des eaux usées d'un Hammam et leur réutilisation dans l'irrigation d'une ferme solidaire dans le périurbain Casablancais (Establishment of a set for the treatment of wastewater from a Hammam filter and reuse in irrigation of a united farm in suburban of Casablanca)

A. Saidi*, B. Elamrani, F. Amraoui
Laboratoire Géosciences Appliquées à I 'Ingénierie de l'Aménagement (G.A.I.A.) Université Hassan II Ain Chock, Faculté des Sciences, BP 5366 Maarif, Casablanca, Maroc.

Received 7 Dec 2013, Revised 16 July 2014, Accepted 17 July 2014
*Corresponding Author**.** Email: assia.saidi@mailbox.tu-berlin.de

Abstract
In the context of scarcity, irregularity and pressure on water resources in a country like Morocco, treatment and reuse of wastewater is an alternative to increasing demand and generates a valuation in a vision of sustainable development. It is the case in Douar Ouled Ahmed where a constructed wetland was installed to purify the outflow of a hammam (public bath) in order to reuse it for irrigation of a small shared farm. The dimensioning was based on the characterization of the available water and a monitoring based on the physicochemical and bacteriological characterization of treated water was set up in order to follow the treatment efficiency of the device comparing different methods treatment and varying the flow under the local climatic conditions. Such a project allows: a strong reduction of harmful effects, agricultural development, training of women in agro-ecology, creation of social bonds in a context of rural environment, the appreciation of water resources and the poverty reduction.

Keywords: constructed wetland, treatment and reuse of wastewater, Casablanca, agriculture and agro-ecology.

Résumé
Dans le contexte de rareté, d'irrégularité et de forte pression sur les ressources en eau dans un pays en stress hydrique comme le Maroc, le traitement et la réutilisation des eaux usées constituent une alternative à une demande sans cesse croissante générant ainsi une valorisation qui s'inscrit dans une vision de développement durable. C'est le cas du projet du Douar Ouled Ahmed où un filtre planté a été mis en place afin d'épurer les eaux d'un Hammam en vue de leur réutilisation pour l'irrigation des plantations d'une ferme solidaire. La conception et la mise en œuvre du filtre planté a nécessité une caractérisation des rejets liquides du Hammam.Un protocole de suivi de la qualité physico-chimique et biologique a été mis en place afin d'évaluer lerendement épuratoire de la station dans les conditions climatiques du site. Les retombées de ce projet ont été bénéfiques à plus d'un titre : forte réduction des nuisances, développement agricole, formation des femmes en agro-écologie, création de liens sociaux dans un contexte d'habitat clandestin, valorisation des ressources en eau et lutte contre la pauvreté.

Mots clés : Filtre planté, traitement et réutilisation des eaux usées, Casablanca, agriculture et agro-écologie

1. Introduction
La Région du Grand Casablanca avec une population de plus de 4 millions d'habitants constitue le premier pôle économique et industriel du pays. Cette agglomération attire, particulièrement en période de sècheresse, une population rurale à la recherche de meilleures conditions de vie. Cette migration vers la grande ville s'accompagne par une extension de l'agglomération avec un certain nombre de dysfonctionnements, notamment dans les régions péri-urbaines: habitat informel, insécurité, pauvreté et dégradation de l'environnement.
L'évolution socio-économique rapide dans la région a entraîné une pression croissante sur les ressources en eau, consécutive à l'accroissement continu des besoins en eau des différents secteurs (eau potable, industrie, irrigation, tourisme...). Or, cette ressource est rare et souvent de mauvaise qualité, d'où la nécessité d'une gestion rationnelle de l'eau intégrant le traitement et la réutilisation.
Ce cycle fermé de la ressource en eau a été testé à Douar Ouled Ahmed, où un filtre planté permet d'épurer les

ISSN : 2028-2508
CODEN: JMESCN
MPE14

eaux d'un Hammam, puis l'eau est réutilisée pour l'irrigation des plantations d'une ferme solidaire. Ce projet pilote qui relie l'agriculture à l'habitat informel a été élaboré dans le cadre d'un programme de recherche-action Marocco-Allemand sur l'Agriculture Urbaine à Casablanca [1].
La caractérisation des eaux brutes, le volume du rejet du Hammam et les conditions du site ont permis de s'orienter vers le traitement par filtre planté. Les bassins ont été ensuite dimensionnés et les paramètres tels que le débit, le niveau d'eau dans les bassins et le type de plantations ont été choisis. Un monitoring basé sur la caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux avant et après traitement a ensuite été mis en place afin de suivre l'évolution du rendement épuratoire du dispositif dans les conditions climatiques locales.

2. Matériels et méthodes

2.1. Description du site d'étude

Le projet pilote du Douar Ouled Ahmed est situé dans la province de Dar Bouazza en région périurbaine du Grand Casablanca à environ 5 km. Il examine les synergies possibles entre l'agriculture et l'habitat informel. Il vise à mettre en place des structures spatiales attractives vertes pour contrecarrer l'étalement urbain et l'imperméabilisation des sols.
Dans ce Douar où l'habitat clandestin est très développé et où les infrastructures de base font défaut, un jardin communautaire « ferme solidaire » a été mis en place. Le jardin est utilisé pour former les femmes locales aux pratiques de l'agriculture biologique, en leur donnant la possibilité d'utiliser des produits agricoles pour contribuer ainsi financièrement des besoins de leurs ménages. Cet espace a permis par ailleurs, de créer des liens sociaux entre les différentes communautés.

Photos 1: construction du filtre planté et formation des femmes en agriculture biologique

L'eau usée du Hammam situé à proximité de la ferme est traitée par un filtre planté. Les effluents traités dans la station sont majoritairement des eaux grises comprenant également des eaux des vannes des toilettes.
Le dimensionnement de la station d'épuration est basé sur le nombre de visiteurs du hammam du mois de Mars au mois de Juillet 2011. La consommation en eau a été estimée à de 30 m³/j.
Les besoins d'irrigation ont été calculés avec le programme de la FAO CROPWAT, Version 8 pour un mélange de cultures maraichères. La plus forte demande a été enregistrée le mois de juillet.Nous avons retenu une demande en eau de 7 m³/j pour 1000 m² de la zone irriguée [2].
La station est connectée au Hammam par deux conduites de diamètres 200 et 160 mm respectivement. Le débit traité varie de 6 à 10 m^3 par jour.
L'eau usée est d'abord prétraité dans une fosse septique à trois chambres ce qui permet d'éliminer en grande partie les matières solides. Cette fosse joue également le rôle d'un bac de stockage (Figure 1). L'eau passe ensuite dans un bassin à culture fixée sur support fin (graviers de différentes tailles), ce qui permet une réduction de la pollution organique et des germes pathogènes. Dans ce bassin des roseaux de type ***Phragmites australis*** ont été plantés dont la rhizosphère favoriserait la circulation de l'air lors des périodes de ressuyage et permettrait ainsi de maintenir dans le temps la circulation hydraulique du massif filtrant (dé-colmatage), d'intensifier par la même occasion l'activité bactérienne et minéraliser les matières organiques retenues en surface [3].
L'eau de la 3ème chambre de la fosse septique est distribuée sur toute la largeur du filtre planté par percolation. La surface du bassin est de 105 m² avec une profondeur moyenne de la zone saturée de 90 cm et un temps de rétention hydraulique de deux jours [2].
L'eau s'écoule par gravité vers un bassin de 3 compartiments à écoulement vertical avec un temps de rétention hydraulique d'une demi-journée, les deux premiers sont identiques de faible profondeur de 15 cm afin d'exposer l'eau traitée aux rayons solaires, notamment aux rayons ultraviolets et réduire ainsi la teneur en microorganismes pathogènes. Le troisième compartiment, de volume plus important de 5 m³, sert comme un bassin de stockage [2].
Pour des raisons techniques, deux filtres à écoulement vertical de 1 m³ (M1 et M2 voir figure 1) ont été mis en place, le 1er après la fosse septique et le 2ème après le filtre à écoulement horizontal, l'objectif est de comparer l'efficacité de traitement du filtre à écoulement horizontal avec le filtre à écoulement vertical dans les conditions climatiques du site.

ISSN : 2028-2508
CODEN: JMESCN
MPE14

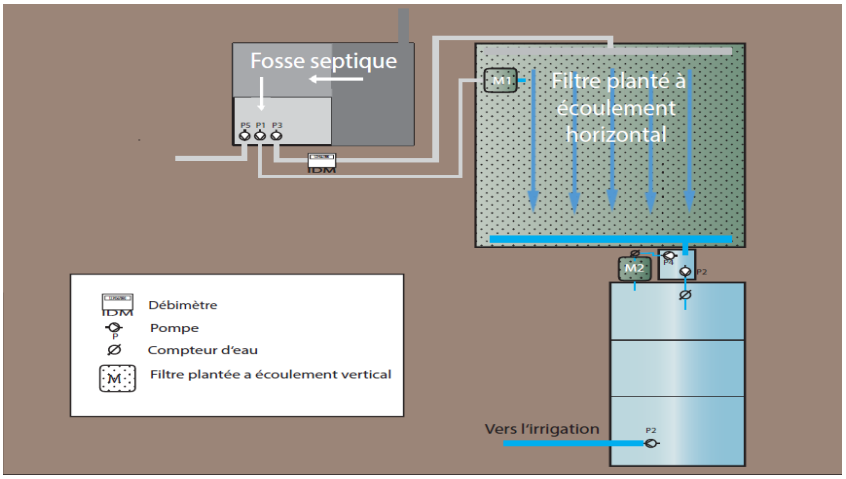

Figure 1 : schéma du procédé de traitement

2.2. Collecte des échantillons et monitoring

Une station météorologique de marque WH1080a été installée pour avoir des données précises sur les conditions climatique du site.

Un débitmètre de type Siemens SITRANS FM MAGFLO MAG5100 W (24 V) avec un convertisseur des données MAG6000 nous donne le débit d'entrée du filtre à écoulement horizontal. Le volume de sortie est calculé à partir des données du compteur d'eau installé avec la pompe (figure 1).

Analyses physico-chimique

L'échantillonnage a été effectué une fois par semaine sur une période de sept mois de février jusqu'à août 2013 et selon la norme AFNOR NF T 90-100. [4]

Le pH, la température (T°) et la conductivité électrique (CE) sont mesurés in situ à l'aide d'un multi-paramètre analyser Type CONSORT (C561 – C562). L'oxygène dissous a été mesuré, in situ, à l'aide d'un oxymètre.

Le dosage de l'azote ammoniacal (NH_4^+) a été effectué selon la norme AFNOR NF T90-0136 avec la méthode de Nessler. Le dosage des nitrates a été mesuré selon la norme AFNOR NF T 90-012 et celui des orthophosphates (PO_4^{3-}) selon AFNOR NF T90-023. La détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) a été effectuée selon la méthode par le dichromate de potassium. [5]

La DBO5 est déterminée par la méthode respiratoire à l'aide d'un DBO-mètre marque Oxidirect.

Analyse microbiologique

Les échantillons ont été prélevés à 12h le 30/04/2013, 16/05/013 et 28/05/2013 dans des flacons stériles frais et refroidis, les échantillons d'eau sont amenés directement au laboratoire.

La détection et le dénombrement des coliformes fécaux et des Escherichia coli dans l'eau ont été réalisées par la méthode NPP (le nombre le plus probable) selon la norme NF T 90-413 et le dénombrement de Salmonella a été faite aussi par NPP selon la norme NF ISO 6579: 2002.

3. Résultats et discussion

3.1. Pertes d'eau ou la balance d'eau

Les courbes suivantes présentent la variation des pertes d'eau dans le filtre à écoulement horizontal (mm/j) en comparaison avec la température et l'humidité du site.

Sur les courbes ci-dessous, on remarque que les pertes d'eau varient entre 10 et 29 (mm/j) et augmentent avec l'élévation de la température et la diminution de l'humidité dans l'air.

El Hamouri and al ont signalé des taux d'évapotranspiration moyennes de 40 et 57 mm/j respectivement pour Arundo donax et Phragmites australis plantés dans des filtres à écoulement horizontal (26 m^2) à Rabat [6].

Une étude dans le subtropicale de l'Australie présente un taux d'évapotranspiration dans un filtre planté qui varie entre 3,2 mm/j et 15,1 mm/j [7].

Dans une zone humide, où l'approvisionnement en eau est rarement limité, le taux d'évapotranspiration est proportionnel à la différence entre la pression de vapeur à la surface de l'eau ou de la feuille de la plante et de la pression de la vapeurdans l'air recouvrant [8]. Ainsi, l'évapotranspiration est affectée par des facteurs qui modifient ces pressions de vapeur, comme le rayonnement solaire, la température de surface, l'humidité et la vitesse du vent. [7].

ISSN : 2028-2508
CODEN: JMESCN
MPE14

Les végétaux du filtre planté peuvent aussi avoir un effet extrêmement important sur le bilan de l'eau. Dans la littérature on a en effet noté que certaines plantes comme les Phragmites australis contiennent un flux de convection qui peut pomper activement de l'air et la vapeur d'eau de la zone des racines vers l'atmosphère [9].

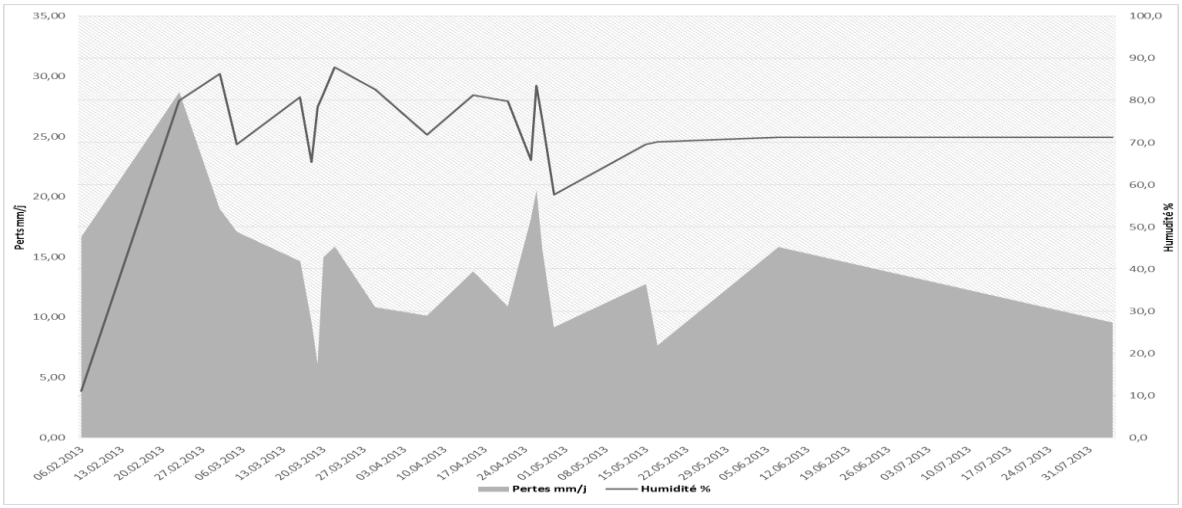

Figure 2: Evolution des pertes d'eau (mm/j) en comparaison avec l'humidité %

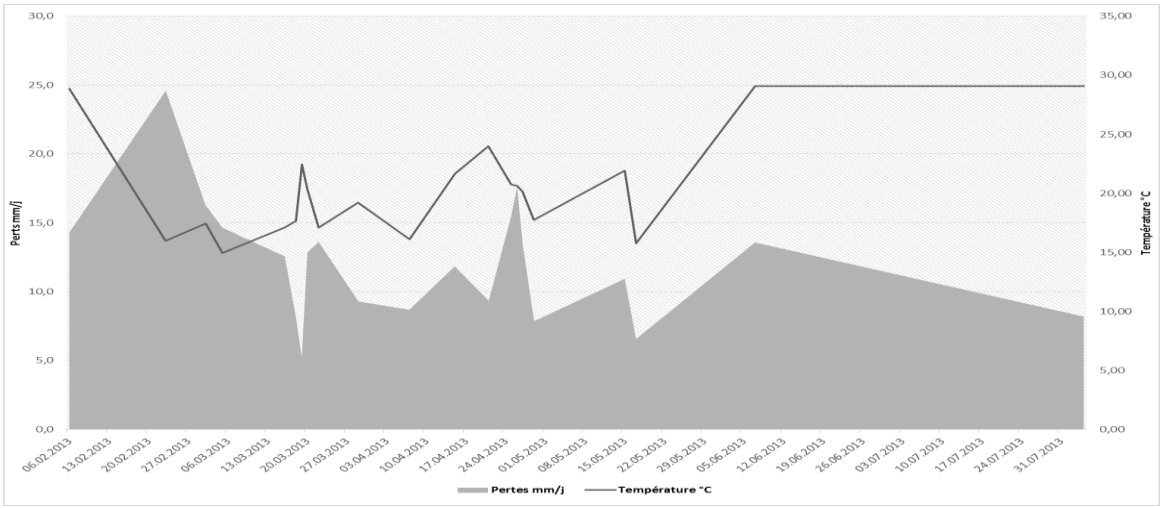

Figure 3: Evolution des pertes d'eau (mm/j) en comparaison avec la température (°C)

3.2. Performance Générale

L'évaluation de l'efficacité du traitement résulte de la détermination d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques caractérisant cette eau usée avant et après traitement. Le tableau ci-dessous présente les résultats en comparaison avec les normes marocaines de la qualité des eaux destinés à l'irrigation.

Compte tenu des performances générales de l'ensemble du système de traitement, on peut remarquer qu'à la sortie de la station, les paramètres mesurés respectent les normes marocaines pour les eaux destinés à l'irrigation à part le pH qui dépasse légèrement.

On comparant les différentes formes de l'azote on constate que la concentration en Ammonium diminue à la sortie du filtre alors que les concentrations des nitrites et nitrates augmentent, ce qui confirme qu'on est en présence d'un processus de nitrification.

D'après la littérature [11] l'oxygénation de la rhizosphère des filtres à écoulement horizontal est insuffisante et par conséquent, l'incomplète nitrification est la cause majeure de la réduction de l'élimination de l'azote.

Plusieurs facteurs influent sur la nitrification principalement la présence d'oxygène [12], c'est le cas de notre système de traitement dans les bassins à faible profondeur car ils sont en contact direct avec l'air voisinant.

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques des eaux brutes et des eaux traitées du filtre planté d'Ouled Ahmed en comparaison avec les normes marocaines de la qualité des eaux destinés à l'irrigation

	Valeur minimale		Valeur maximale		Moyenne		Normes marocaines de la qualité des eaux destinées à l'irrigation [10]
	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	
Température (°C)	31.1	24.8	35	29.8	33.1	29.2	≤ 35
Salinité (g/l)	1.8	1.8	2.1	1.9	2.0	1.9	-
Conductivité (ms/cm)	3	2.8	3.2	3.9	3.9	3.4	8.7
pH	7.6	7.5	7.8	8.8	7.8	8.1	6.5-8.5
O_2 (mg/l)	1.4	2.3	1.9	3.9	2.4	2.7	-
Ammonium N-NH_4 (mg/l)	16,9	6,175	30,2	23,95	29,9	20,87	-
Nitrites N-NO_2 (mg/l)	2.4	2.7	2.6	8.6	2.4	5.6	_
Nitrates N-NO_3 (mg/l)	2.4	6.2	3.3	8.3	3.1	7.5	30
Orthophosphates-P (mg/l)	1.2	1.8	3.2	3.8	2.1	2.5	

3.3. Comparaison entre le rendement du filtre à écoulement horizontal et du filtre à écoulement vertical
Les courbes Ci-dessous présentent l'évolution du rendement de la DCO et la DBO5 en g/m^2/j à la sortie du filtre à écoulement horizontal et du filtre à écoulement vertical en termes de matière organique.

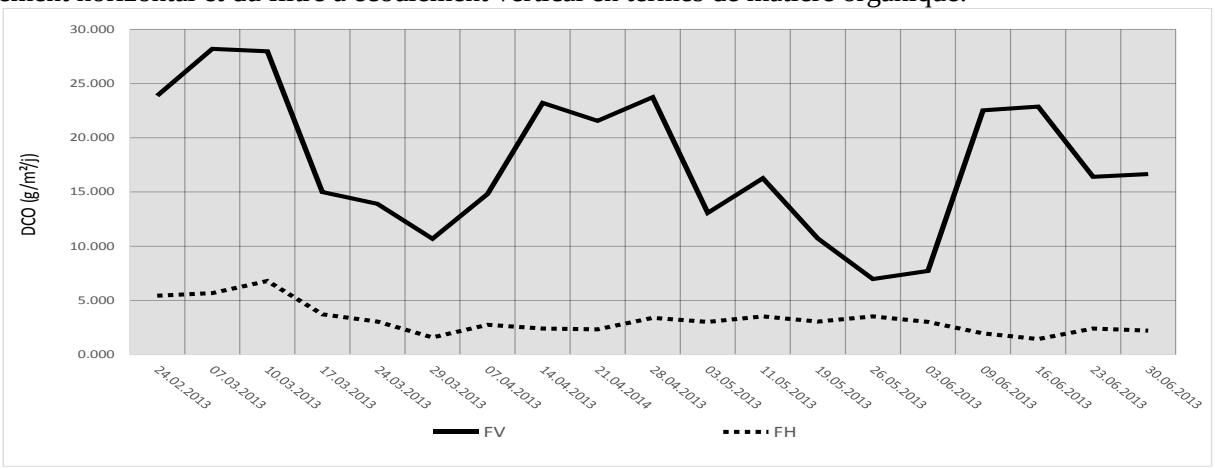

Figure 4: Comparaison de l'abattement de la DCO entre le filtre à écoulement horizontal et le filtre à écoulement vertical

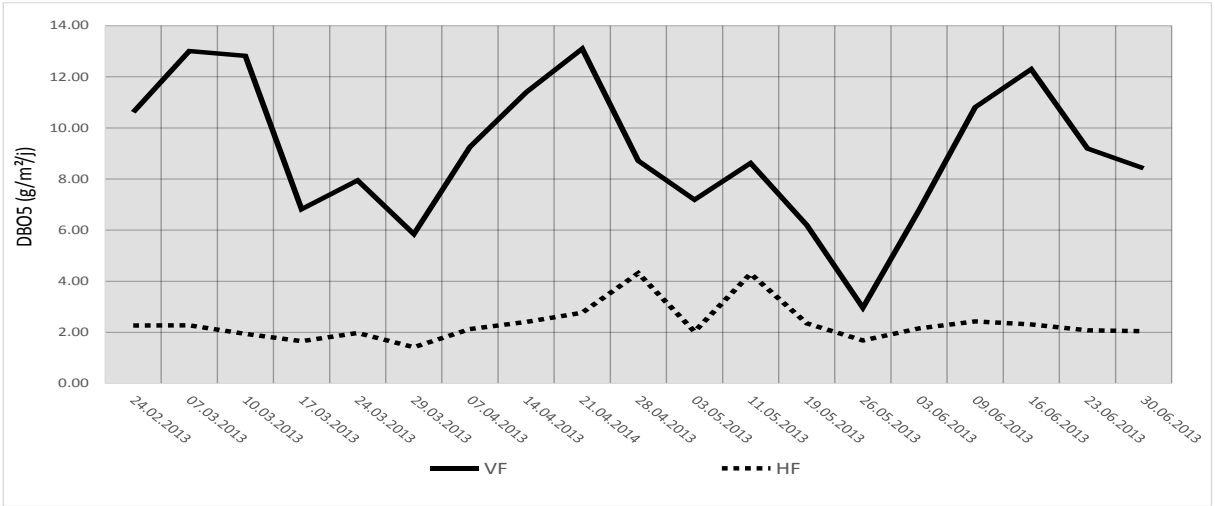

Figure 5: Comparaison de l'abattement de la DBO_5 entre le filtre à écoulement horizontal et le filtre à écoulement vertical

On constate que le rendement du filtre à écoulement vertical est plus élevé que le filtre à écoulement horizontal. Ce résultat est en accord avec une étude réalisée par UN-Habitat qui montre l'efficacité de la dernière génération de filtre planté à système d'écoulement vertical avec le chargement intermittent [13]. Les raisons de l'intérêt croissant pour l'utilisation des systèmes d'écoulement vertical sont dues au fait que ce système présente beaucoup plus de capacité de transfert d'oxygène ce qui favorise une bonne nitrification, occupe moins d'espaces que le système à écoulement horizontal et il s'avère plus efficace dans l'élimination de la DBO5, la DCO et les agents pathogènes.

3.4 Résultats microbiologique

Par ailleurs, les résultats préliminaires de l'analyse microbiologique montrent l'absence de Salmonella et de vibrion cholérique à la sortie de la station de traitement. La réduction des autres bactéries est d'environ quatre décades (10^4) et toutes les valeurs obtenuessont en deçà des valeurs de la norme de l'eau destinée à l'irrigation [10].

3.5 Comparaison avec d'autres expériences de filtre planté

Généralement les filtres plantés ont tendance à être plus largement implantés, en raison de leur efficacité en termes de filtration et d'élimination de la matière organique par superficie unitaire. Les systèmes de filtres plantés méditerranéens semblent obtenir de meilleurs résultats, probablement en raison des conditions climatiques plus clémentes, en comparaison avec la plupart des autres expériences européennes [14].

L'étude de Fabio en 2007 [14] a montré que les deux expériences réalisées dans des pays chauds à savoir le Maroc et la Syrie montrent une augmentation de plus de 10% dans les rendements épuratoires moyens par rapport aux systèmes italiens, notamment pour les paramètres dontle pourcentage d'élimination dépend de la température de l'eau. Les figures ci-dessous montrent l'évolution du rendement en termes de DCO et DBO_5 après chaque étape de traitement.

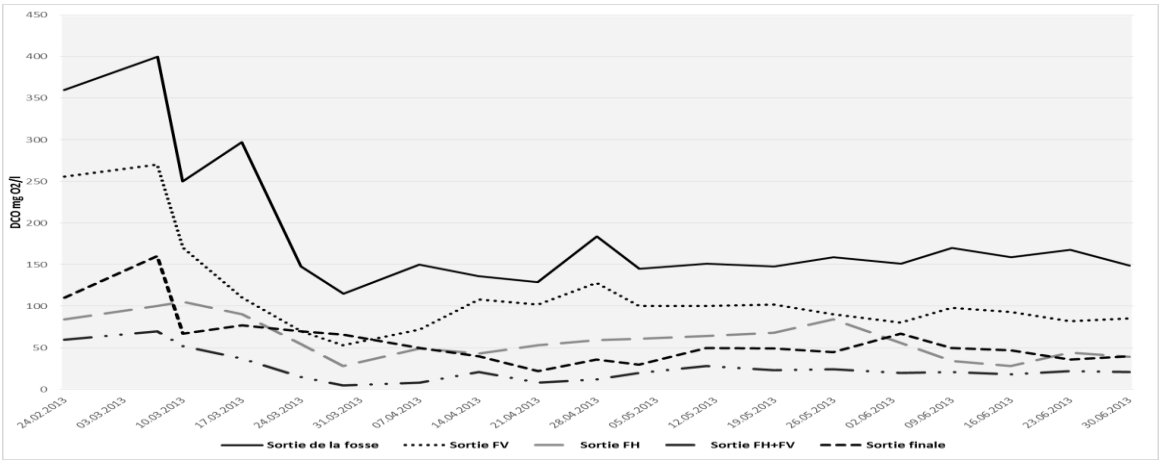

Figure 6 : Evolution du rendement en terme de DCO après chaque étape de traitement

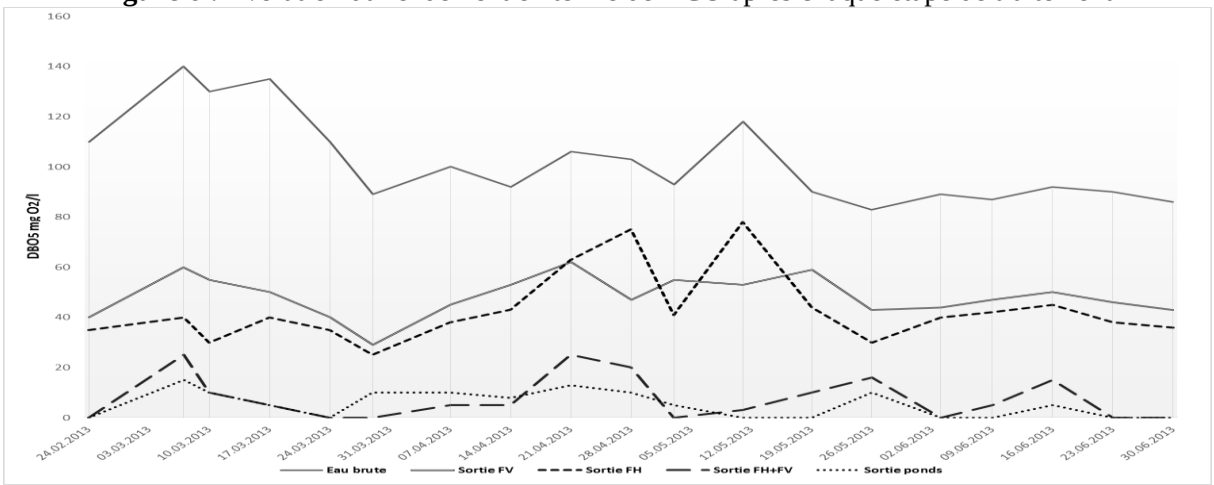

Figure 7: Evolution du rendement en terme de DBO_5 après chaque étape de traitement

Dans notre cas d'étude, on peut remarquer d'après les courbes ci-dessus qu'il y a un bon abattement de la DCO et la DBO_5 avec des moyennes successives de 67% et 85%. Mais en comparant chaque étape de traitement on constate que la DCO et la DBO_5 augmentent en comparant la sortie du filtre à écoulement vertical et la sortie finale après les bassins de désinfection. Donc on peut conclure que la qualité de l'eau se dégrade à la sortie des bassins.En effet, d'après le Tableau 1, les valeurs de l'azote et du phosphore augmentent à la sortie, la présence de la lumière du soleil permanente et des nutriments favorise la croissance des algues, ce qui a accentue l'eutrophisation et entraine la dégradationde la qualité de l'eau à la sortie et donne à l'eau une couleur verte, nauséabonde et peu attrayante (Photo 2).
Pour remédier à ce problème, les bassins à faible profondeur ont été rempli par du gravier et le dernier bassin a été couvert (Photo 3).

Photo 2 : Eutrophisation dans la dernière étape de traitement

Photo 3 : Solution proposée pour le problème d'eutrophisation

Conclusion

Dans un contexte de stress hydrique et de forte pression sur l'eau, le traitement et la réutilisation des eaux usées permet la mise à disposition d'une ressource non conventionnelle capable d'initier un projet de développement agricole.
Les résultats obtenus à l'issue de cette étude montrent que les abattements des paramètres de pollution organique sont satisfaisants grâce à l'action conjuguée des macrophytes, des bactéries et de la barrière physique que constitue le massif de filtrant.
La présence d'azote et du phosphore est bénéfique pour la production culturale, donc on peut utiliser cette eau pour l'irrigation.
D'après notre expérience la combinaison d'un filtre horizontal avec un filtre vertical donne de bon rendement alors que dans des conditions climatiques comme celledu site d'étude où il y a une présence permanente du soleil, des bassins à faible profondeur peuvent causer des problèmes d'eutrophisation.

References

1. (2013) ; www.uac-m.org
2. Martin R., Concept report « Wastewater Treatment Plant Hammam for Pilot Garden Ouled Ahmed, Morocco », September 2011.
3. André Paulus, Le filtre planté de roseaux : Le versant vert de l'épuration des eaux usées, édition du Rouergue, 2011.
4. ISO 5667/3. Qualité de l'eau -échantillonnage - guide pour la conservation et la manipulation des échantillons, 1994.
5. Jean RODIER : « L'analyse de l'eau eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer », Paris 9éme édition (1984) p : 588-589-695.
6. El Hamouri, B., Nazih, J., Lahjouj, J., Subsurface-horizontal flow constructed wetland for sewage treatment under Moroccan climate conditions. *Desalination* 215 (2007) 153-158.
7. T.R. Headley, L. Davison, D.O. Huett, R. Müller. Evapotranspiration from subsurface horizontal flow wetlands planted with Phragmites australis in sub-tropical Australia, *Water research* 46 (2012) 345-354
8. Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., Wetlands, *fourth ed. John Wiley & Sons Inc*., New York, (2007) 582.
9. Armstrong J., Armstrong W., A convective through flow of gases in Phragmites australis. *Aquatic Botany* 39 (1991) 75.
10. Ministère de l'Environnement du Maroc, « Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc », N° 5062 du 30 ramadan 1423. Rabat (2002).
11. Vymzal, J., Removal of nutrients in various types of constructed wetlands, *Sci. Tot. Environ*. 380 (2007) 48-65.
12. Boller M., Gujer W. Et Tschui M., Parameters affecting nitrifying biofilm reactors. *Water Sci. Technol*., 29 (1994) 1-11.
13. UN-HABITAT, Constructed Wetlands Manual. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu, 2008.
14. Fabio M., Nicola M., Constructed wetlands for the Mediterranean countries: hybrid systems for water reuse and sustainable sanitation, *Desalination* 215 (2007) 44–55.